Biologia Celular

10 A célula vegetal

1. Iniciando a conversa

Os objetivos específicos deste tópico são:

- Diferenciar as células eucarióticas vegetais das células eucarióticas animais;
- Compreender morfológica e funcionalmente as peculiaridades das células vegetais;
- Entender sumariamente o processo de fotossíntese.

Enfim, após nove semanas de trabalho, estamos chegando ao final da disciplina de Biologia Celular.

Até o momento, vimos as principais características da célula eucariótica animal. Entretanto, nesta semana, daremos um passo em direção à disciplina de Botânica por um assunto em comum com a Biologia Celular: a Célula Vegetal.

A quantidade de informações acerca da biologia celular vegetal é bastante restrita quando comparada ao que se conhece em relação às células animais. Assim, é bastante comum que este conhecimento seja generalizado, erroneamente, para as células vegetais.

Desse modo, enfatizaremos, na aula desta semana, as características peculiares da célula vegetal, além de iniciar uma discussão que será tratada com maiores detalhes na disciplina de Botânica: a Fotossíntese.

2. A Célula Vegetal

A célula eucariótica vegetal é, fundamentalmente, semelhante ao modelo eucariótico animal estudado até o momento. Entretanto, exibem algumas particularidades (Fig. 10.1), como a presença de uma parede celular, que envolve a membrana plasmática, e duas organelas adicionais - os plastídios (sendo os cloroplastos o tipo mais conhecido) e o vacúolo, que conferem características muito particulares à célula vegetal.

3. A Parede Celular

Em geral, a célula vegetal é limitada por uma parede celular rígida associada externamente à membrana plasmática (Fig. 10.1). A parede celular é uma das principais características que diferencia a célula vegetal da célula animal e determina, em grande parte, o tamanho e a forma da célula, limitando a expansão do citoplasma por variações osmóticas do meio. Tem um papel importante na adesão e comunicação intercelular, mediando também o transporte de substâncias entre a célula e o meio. Existe uma estreita relação entre a estrutura da parede celular e a função da célula, visto que diferentes tipos celulares podem ser identificados pela estrutura de suas paredes.

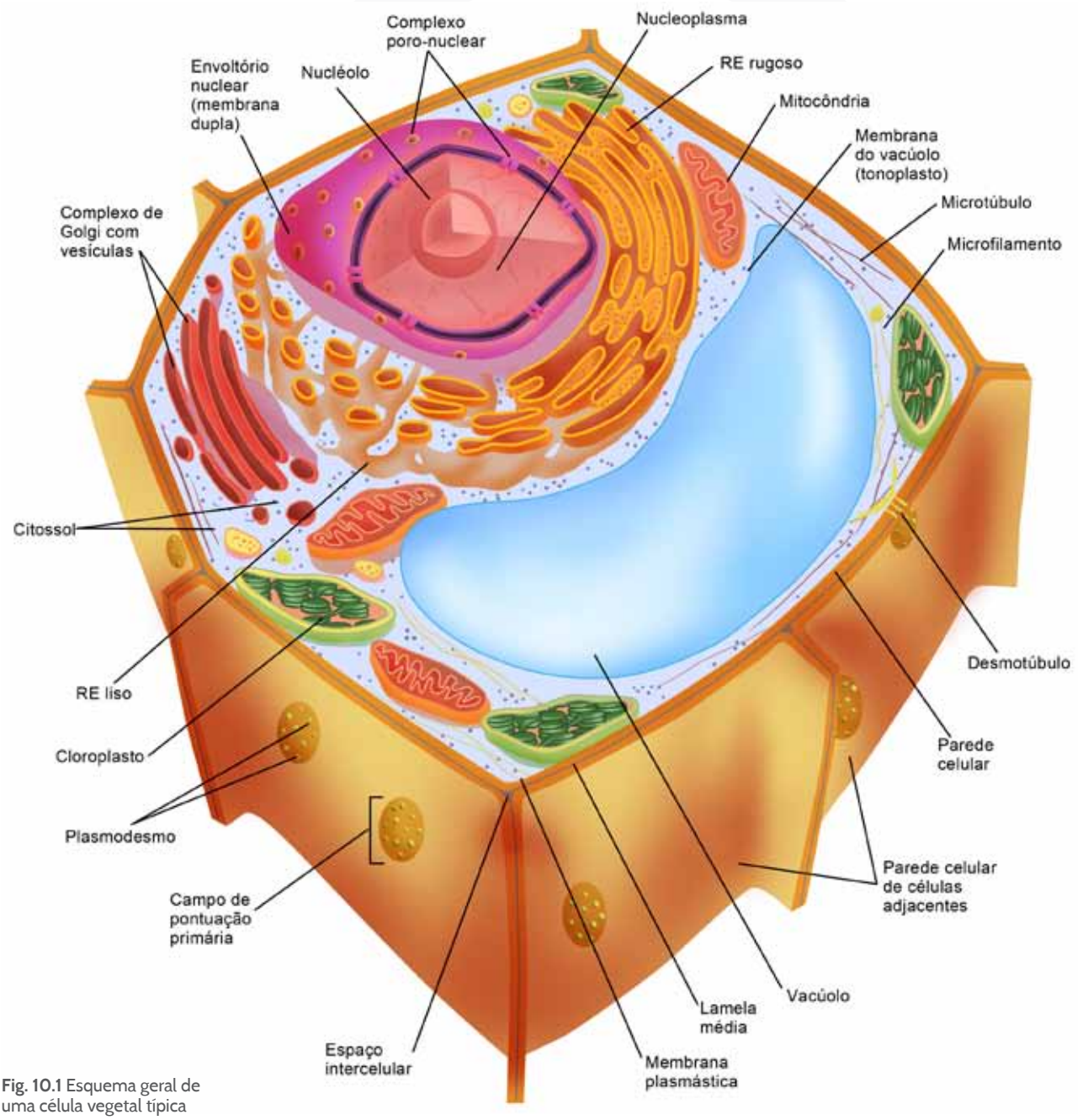

Fig. 10.1 Esquema geral de uma célula vegetal típica

A arquitetura da parede celular é determinada em grande parte pela celulose, seu principal componente. De modo geral, as camadas mais externas da parede são denominadas parede primária e a região de união entre duas células adjacentes é chamada lamela mediana ou substância intercelular (Fig. 10.2). A maioria das células vegetais deposita camadas adicionais de parede celular, produzidas pelo citoplasma, formando a parede secundária internamente à parede primária.

A celulose é uma macromolécula composta por monômeros de glicose, que se ligam pelas pontas e formam o arcabouço da parede celular (Fig. 10.3). Assim como o amido e o glicogênio, a celulose é um polímero de glicose. A diferença entre esses polímeros é o fato de que a celulose é mais resistente à ação de enzimas e, uma vez que essas moléculas são incorporadas à parede celular, elas deixam de estar disponíveis como fonte de energia para a planta. Esses polímeros se agrupam, por pontes de hidrogênio, em microfibrilas, que, por sua vez, se entrelaçam formando as macrofibrilas, que se enrolam entre si em um arranjo semelhante a fios em um cabo. Apenas para efeito de comparação, este arranjo de celulose é mais resistente do que um cabo de aço de mesma espessura. Além da celulose,

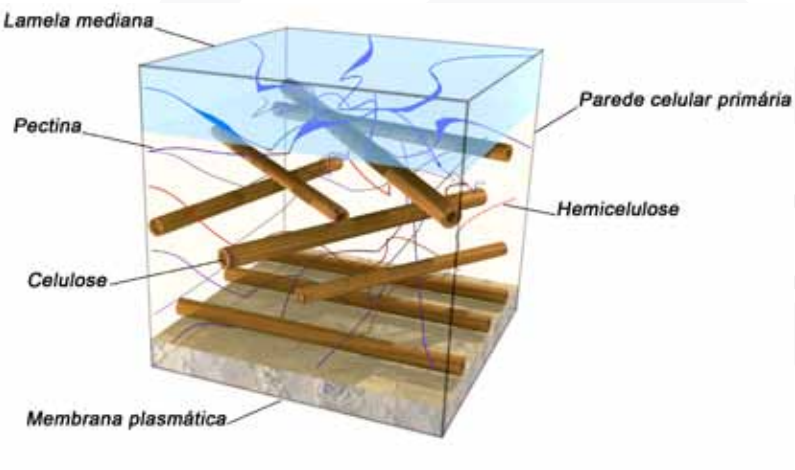

Fig. 10.2 Desenho esquemático mostrando a arquitetura da parede celular com seus diferentes constituintes.

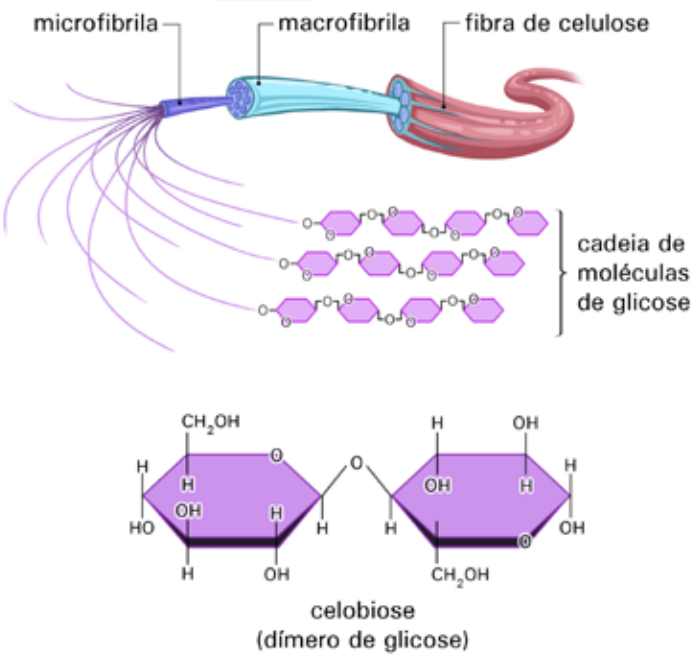

Fig. 10.3 Organização estrutural de uma fibra de celulose.

a parede celular possui, também, uma matriz formada por outros polissacarídeos não celulósicos como a hemicelulose e pectinas, além de glicoproteínas. As hemiceluloses têm um provável papel no controle da expansão celular, pois se associam às microfibrilas de celulose, limitando a extensibilidade da parede celular. Por outro lado, as pectinas são moléculas hidrofílicas e, portanto, introduzem água na parede primária, conferindo flexibilidade, condição necessária para a plasticidade da parede. As paredes primárias são constituídas por aproximadamente 65% de água. Essas pectinas também estão presentes na lamela mediana. Além das glicoproteínas, que têm papel estrutural, a parede celular possui enzimas como, por exemplo, peroxidases, fosfatases, celulases e pectinases. Células com função mecânica ou de sustentação possuem lignina, que fornece rigidez e resistência à compressão. Células epiteliais das plantas apresentam substâncias graxas como a cutina, suberina e ceras, que conferem resistência e impermeabilizam os tecidos, diminuindo as perdas de água por evaporação.

4. Plasmodesmos e a Comunicação Célula-Célula

Células vegetais adjacentes são firmemente fixadas pela lamela mediana das paredes celulares, eliminando a necessidade de junções de adesão, como ocorrem nas células animais. Entretanto, a comunicação entre as células vizinhas, papel das junções comunicantes estudadas anteriormente, ainda é necessária. Esta função é exercida pelos plasmodesmos nas células vegetais. Essas estruturas formam pequenos canais aproximadamente cilíndricos e com diâmetro de 20nm a 40nm, resultantes da fusão das membranas plasmáticas e, consequentemente, comunicam os citoplasmas das células vizinhas (Fig. 10.4). No interior dos plasmodesmos, existem os desmotúbulos, que são segmentos que conectam os retículos endoplasmáticos lisos das células. Portanto, entre a porção externa

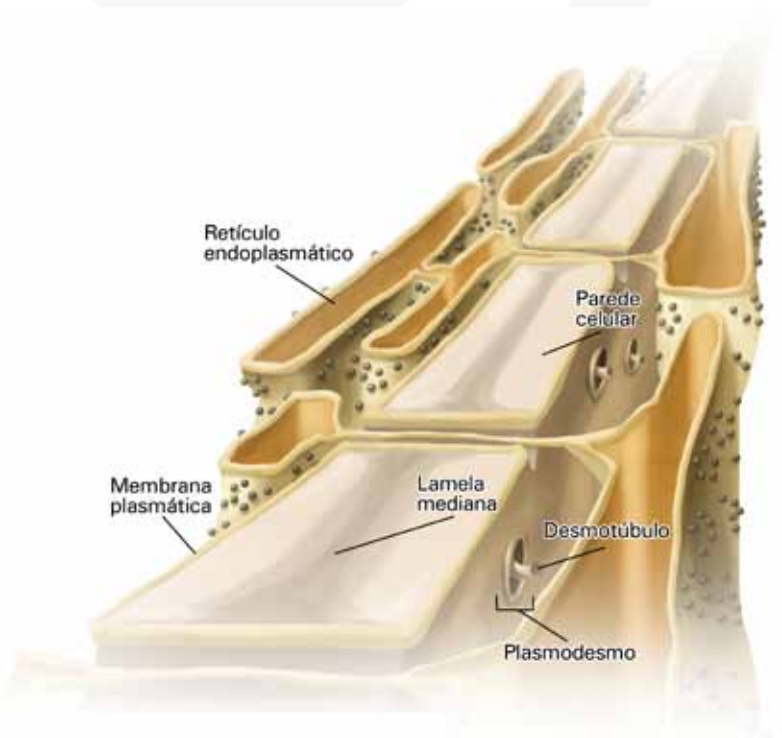

Fig. 10.4 Desenho esquemático da parede celular entre células vizinhas mostrando os plasmodesmos que medeiam a comunicação intercelular.

do desmotúbulo e a membrana plasmática forma-se um canal que permite a passagem de moléculas de uma célula à célula adjacente. Os plasmodesmos são formados, em sua grande maioria, durante a citocinese, ao redor do retículo endoplasmático liso aprisionado na região da divisão, de modo que a parede celular seja frouxamente depositada naquela região, formando o campo de pontoação primário. Outros plasmodesmos - os secundários - podem ser produzidos *de novo* em paredes celulares preexistentes e também podem ser removidos quando não necessários. Estas estruturas atuam de forma semelhante às junções comunicantes das células animais, de modo que a passagem de substâncias também é regulada. No entanto, o mecanismo que restringe essa comunicação ainda não é conhecido nas células vegetais.

5. Os Plastídios

Os plastídios são organelas típicas de células vegetais e estão relacionadas aos processos de fotossíntese e armazenagem. Eles são envoltos por duas membranas concêntricas, e todos os plastídios de uma mesma espécie de vegetal possuem múltiplas cópias de um mesmo genoma, relativamente pequeno, assim como as mitocôndrias estudadas anteriormente. Os plastídios são de três tipos: cloroplastos, cromoplastos e leucoplastos.

6. Os Cloroplastos

Os cloroplastos são o tipo mais conhecido de plastídios (Fig. 10.5), sendo as organelas responsáveis pela fotossíntese, que veremos adiante. Eles contêm pigmentos como as clorofilas, responsáveis pela coloração verde de diversas estruturas vegetais, e os carotenoides, ambos envolvidos na fotossíntese. Os cloroplastos se assemelham bastante às mitocôndrias, estudadas anteriormente. Embora sejam maiores, eles também possuem duas membranas que limitam um estreito espaço intermembranas, sendo a externa bastante permeável e a interna mais seletiva e com diversas proteínas integrantes.

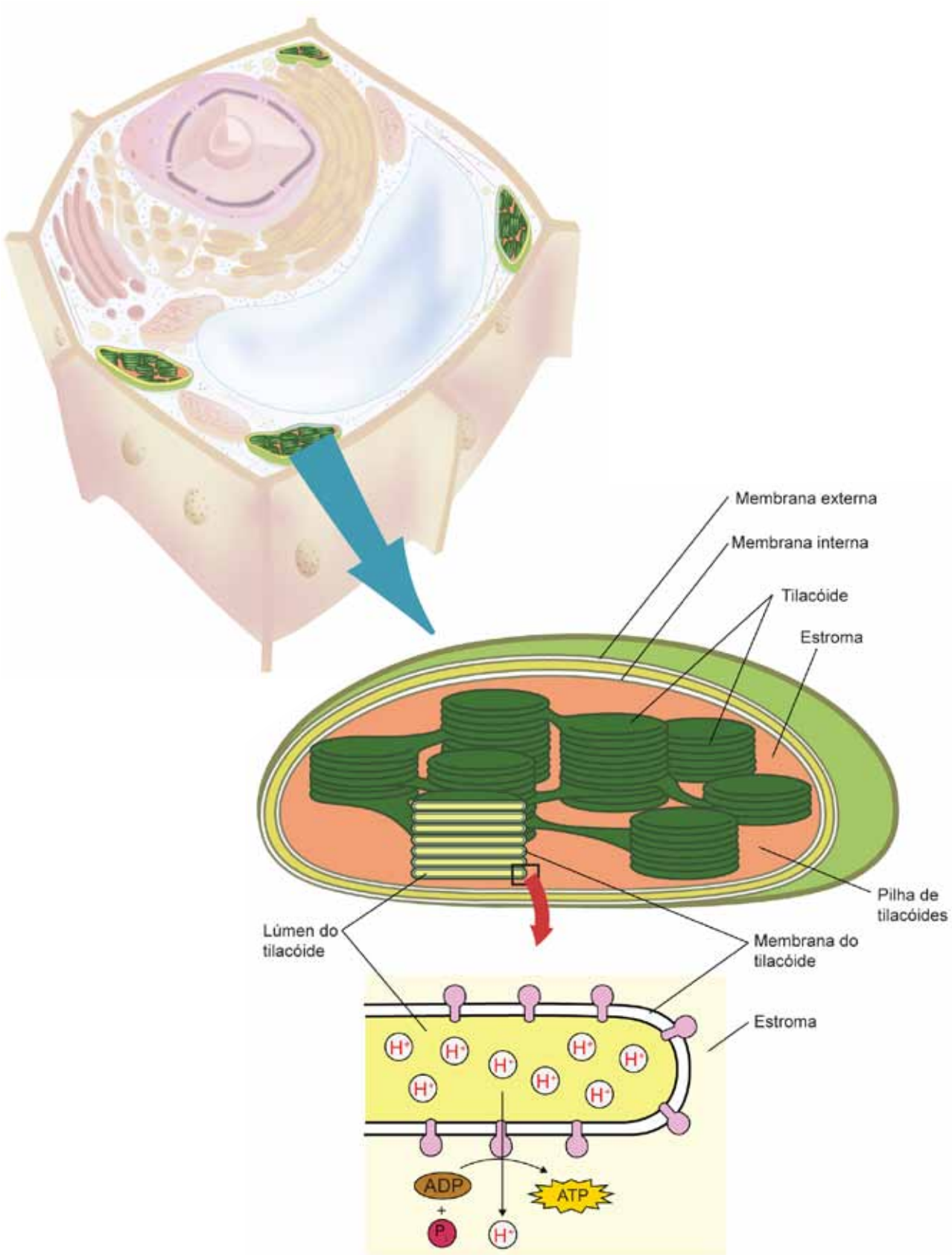

Fig. 10.5 Esquema tridimensional mostrando detalhes da organização dos granas e lamelas no interior do cloroplasto. Detalhe diagramático de um tilacoide mostrando a disposição da ATP sintase, que é alimentada pelo gradiente de prótons, gerando energia (ATP).

Nos cloroplastos, a membrana interna envolve uma matriz denominada estroma, semelhante à matriz mitocondrial, que contém diversas enzimas metabólicas e é o local onde ocorrem as reações necessárias para a fixação do gás carbônico (Ciclo de Calvin) (Fig. 10.6).

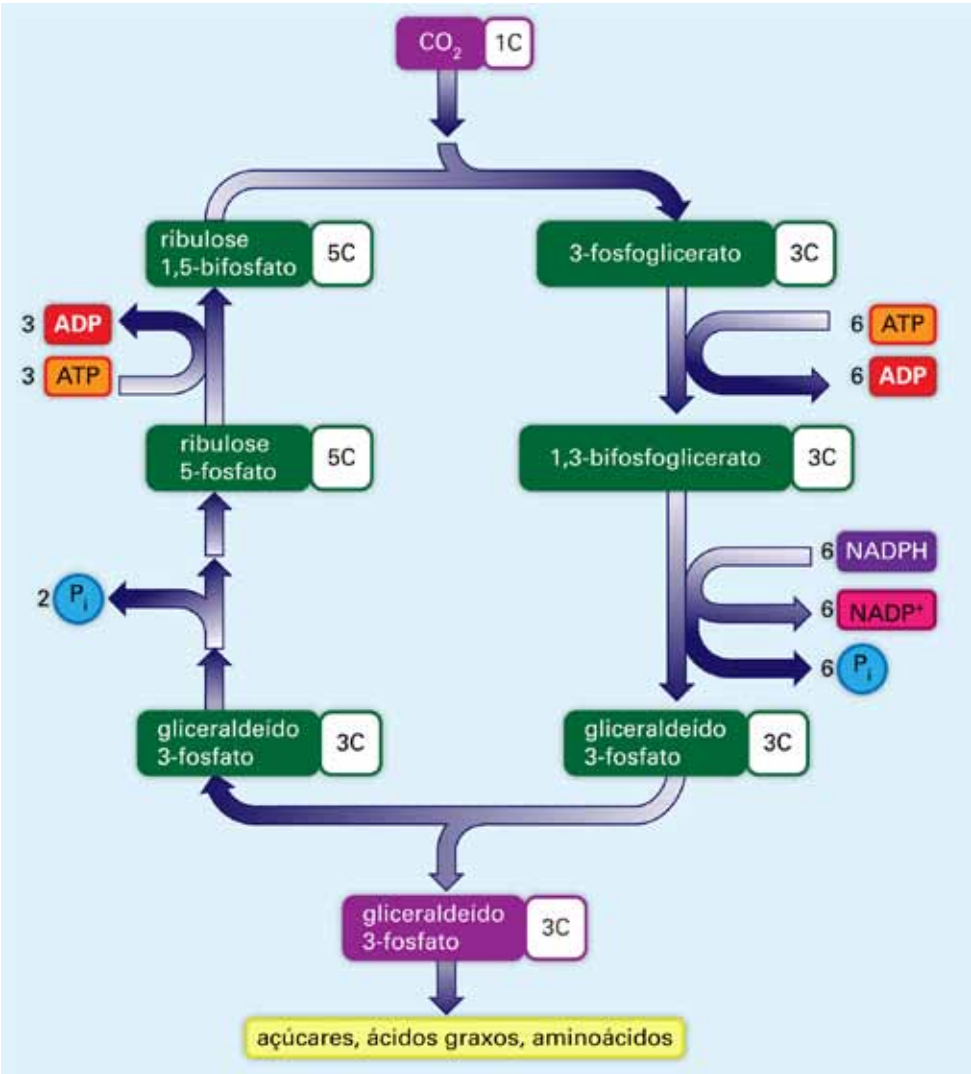

Fig. 10.6 O ciclo de Calvin. Note que este ciclo utiliza o ATP e coenzimas reduzidas, geradas na fase fotodependente na fixação de carbono proveniente do CO_2 atmosférico.

Todavia, deve ser ressaltada uma importante diferença entre essas organelas. A membrana interna dos cloroplastos não forma cristas e não contém cadeias transportadoras de elétrons. As proteínas e os sistemas fotossintetizantes (que absorvem luz e produzem ATP) estão contidos em uma terceira membrana embebida no estroma - a membrana dos tilacoides (Fig. 10.7), que são como um conjunto de sacos achatados e intercomunicantes.

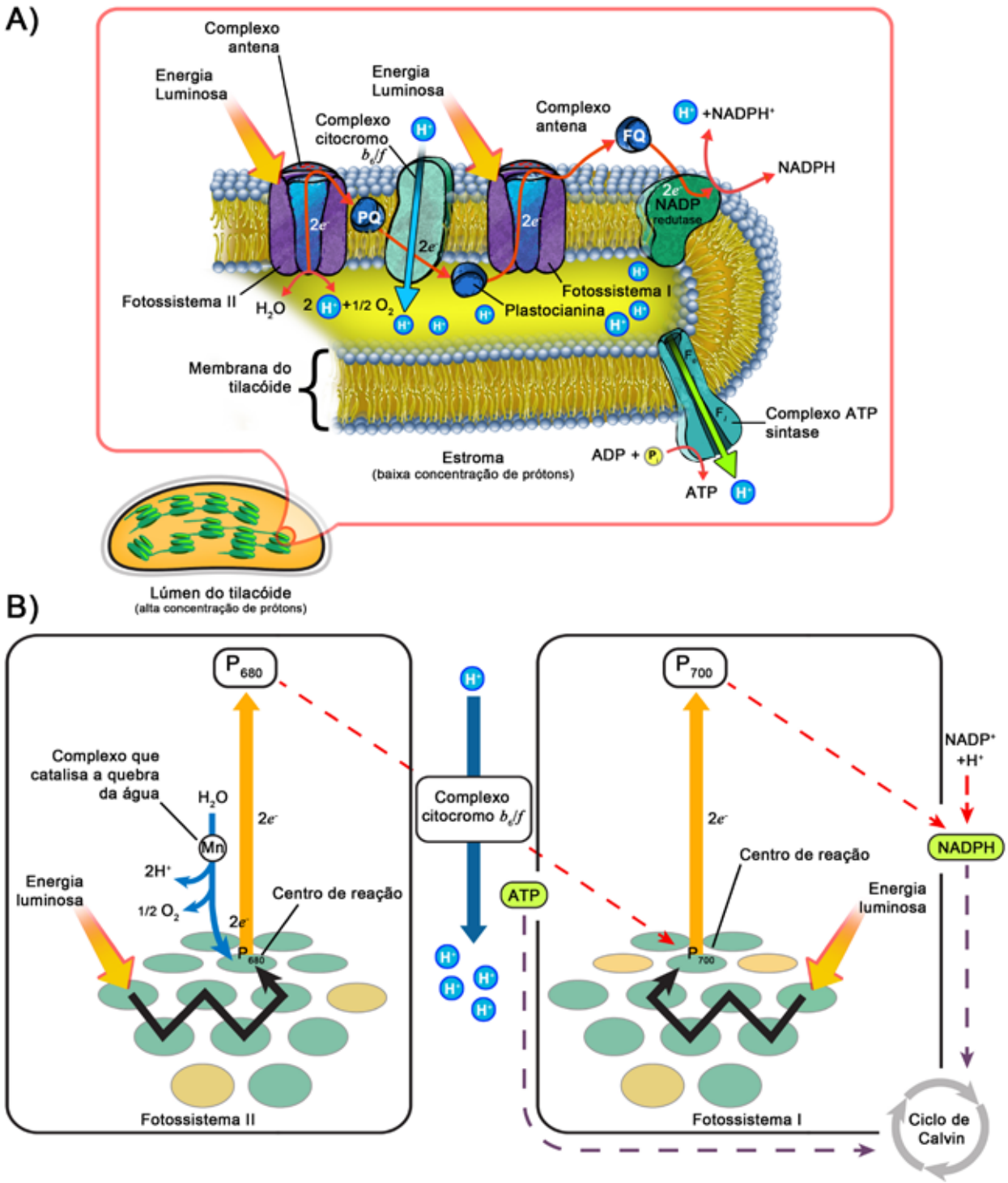

Fig. 10.7 Detalhe esquemático da membrana de um tilacóide mostrando a disposição dos fotossistemas (que absorvem energia luminosa) e da ATP sintase, que produzem coenzimas reduzidas e ATP (A). Detalhe dos dois fotossistemas evidenciando os complexos-antena e a geração de ATP (via gradiente de prótons) e de coenzimas reduzidas que serão utilizados no ciclo de Calvin.

Os tilacoides, por sua vez, organizam-se como sacos empilhados, semelhantes a uma pilha de moedas, chamados granum (plural, grana). Como mencionado anteriormente, o lúmen desses tilacoides é interconectado, delimitando um terceiro compartimento - o espaço tilacoide. Podem ser observados também alguns grãos de amido e pequenos corpos oleaginosos no estroma dos cloroplastos, que atuam como reserva de energia para suprir a demanda proveniente da grande atividade metabólica dessas organelas.

7. Os Cromoplastos

Os cromoplastos são plastídios que contêm pigmentos do grupo dos carotenoides, que conferem a cor amarela, laranja ou vermelha a algumas plantas. Estas organelas apresentam formas variadas e sua função precisa ainda não é totalmente compreendida, embora se acredite que elas atuem como atrativo para diversos animais, que têm papel fundamental na polinização cruzada de plantas e na dispersão de frutos e sementes. Os cromoplastos podem se originar de cloroplastos preexistentes, através da substituição da clorofila pelos carotenoides e a desorganização das membranas tilacoides. Este processo ocorre durante o amadurecimento de muitos frutos como, por exemplo, o tomate.

8. Os Leucoplastos

O terceiro tipo de plastídio - o leucoplasto - é o que apresenta menor complexidade estrutural, pois não possuem pigmentos nem um sistema de membranas complexo no estroma (Fig. 10.8). Alguns leucoplastos sintetizam amido, sendo chamados amiloplastos (ex.: tubérculos da batata-inglesa), enquanto outros podem produzir outras substâncias, como óleos e proteínas.

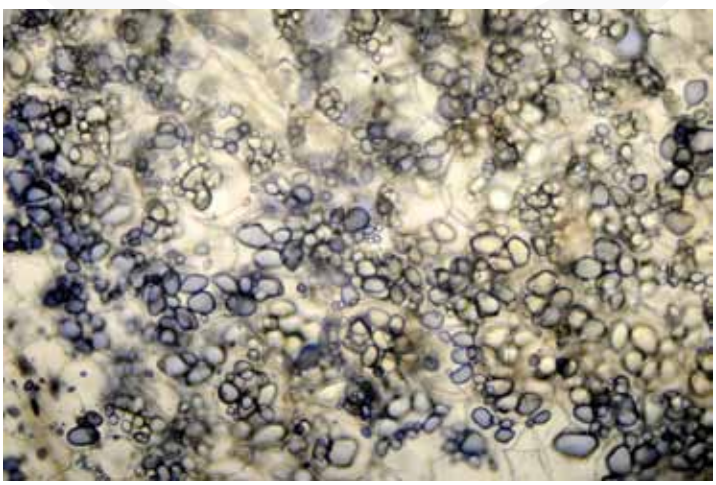

Fig. 10.8 Imagem histológica mostrando células de batata (*Solanumtuberosum*) com vários leucoplastos, que armazenam amido (amiloplastos).

9. A Origem Evolutiva dos Plastídios

Acredita-se que os plastídios tenham se originado evolutivamente por um evento de endossimbiose entre uma célula procariótica fermentativa (hospedeira) com uma bactéria fotossintetizante de vida livre, semelhante às atuais cianobactérias (algas azuis). Entretanto, esse evento teria ocorrido, provavelmente, após a associação com as mitocôndrias, processo já discutido na Semana 5.

10. O Vacúolo

Existe uma segunda organela que diferencia a célula vegetal da célula animal - o vacúolo. Trata-se de uma organela envolta por uma única membrana, denominada tonoplasto ou membrana vacuolar, e preenchida por um líquido aquoso chamado suco celular ou vacuolar. O vacúolo pode se originar diretamente do retículo endoplasmático, mas a maioria das proteínas integrantes da membrana do tonoplasto é oriunda do complexo de Golgi.

Inicialmente, a célula jovem tem numerosos e pequenos vacúolos, que, com a maturação da célula, aumentam em tamanho e fundem-se, formando o vacúolo da célula madura. Esse aumento de volume vacuolar durante a maturação e crescimento celular também tem um papel na economia de energia por parte da célula, pois o gasto energético para o aumento do vacúolo é substancialmente menor do que seria para o aumento do citoplasma (Fig. 10.9).

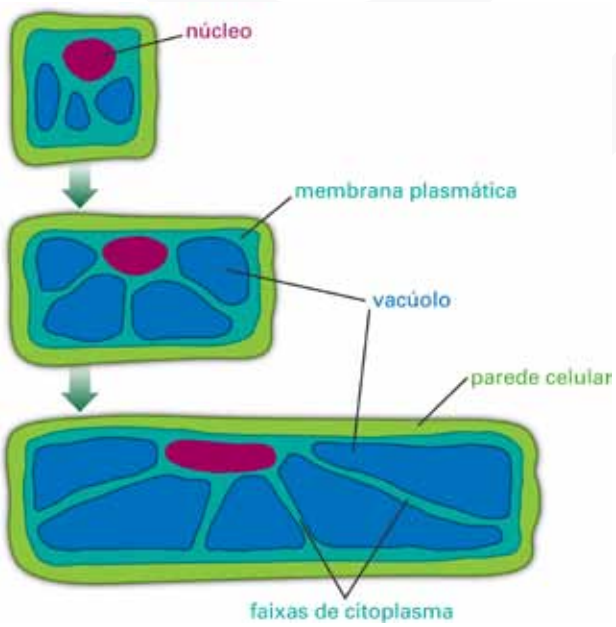

Fig. 10.9 Esquema mostrando o papel importante do vacúolo ao longo do processo de crescimento da célula vegetal.

Ao final, o pequeno volume de citoplasma acaba sendo comprimido contra a parede celular, formando um filme citoplasmático, que aumenta a superfície de trocas entre a célula e o meio circundante. Assim, o vacúolo de uma célula vegetal adulta pode ocupar de 30 a 90% do volume celular total, dependendo do tipo e função da célula em questão. Os vacúolos têm diversas funções, podendo coexistir, em uma mesma célula, diferentes vacúolos desempenhando papéis distintos. Eles podem atuar como os lisossomos das células animais, que contêm diversas enzimas digestivas em seu interior. Em alguns tipos de sementes, essas enzimas são utilizadas para hidrolisar proteínas estocadas como reserva, disponibilizando energia durante o desenvolvimento do embrião. Outra principal função é a de armazenamento, tanto de metabólitos primários (açúcares, ácidos orgânicos e proteínas) quanto de secundários tóxicos, que precisam ser isolados do citoplasma (nicotina e taninos). Essas toxinas são retidas permanentemente no interior dos vacúolos, de modo que passam a atuar, também, como importantes defensores químicos para a planta contra patógenos, parasitas e/ou herbívoros. Pigmentos também podem ser armazenados no interior dos vacúolos, como as antocianinas, que são as responsáveis pela coloração azul, violeta, roxa, vermelha escura e escarlate de alguns vegetais. Do ponto de vista econômico, podemos dizer que muitas substâncias estocadas nos vacúolos são, também, aproveitadas para consumo humano, como a borracha, o ópio e até mesmo o aroma do alho. Uma importante função dos vacúolos é a manutenção da homeostase da célula, permitindo que as células vegetais tolerem grandes variações de pressão em relação ao meio intersticial. Eles ajudam a controlar o pH do citoplasma, pelo transporte de íons H+ pelo tonoplasto, e a manter a pressão de turgor constante, independentemente da tonicidade dos fluidos de ambientes adjacentes.

11. Uma Visão Geral da Fotossíntese

Alguns seres vivos como os animais, protozoários, fungos e algumas bactérias, obtêm energia e matéria-prima para a sua subsistência pela ingestão de moléculas orgânicas provenientes de organismos vivos ou mortos. Os seres que se alimentam desse modo são chamados heterótrofos. Por outro lado, organismos como as plantas, algas e outros tipos de bactérias são capazes de produzir o seu próprio alimento a partir de moléculas inorgânicas encontradas no ambiente, sendo, por isso, denominados autótrofos. A grande maioria dos autótrofos utiliza a luz como fonte de energia para a produção de alimento, por um processo denominado fotossíntese.

Praticamente, todas as formas de vida se nutrem do alimento proveniente da fotossíntese, visto que os heterótrofos se alimentam, direta ou indiretamente, das substâncias orgânicas produzidas pelos autótrofos.

A fotossíntese é um conjunto complexo de reações químicas que ocorrem em um tipo muito especializado de organela, o cloroplasto. Essas reações podem ser simplificadas do seguinte modo:

$$CO_2 + H_2O + \text{Energia luminosa} \rightarrow CH_2O + O_2$$

Portanto, o carbono inorgânico encontrado na atmosfera (CO_2) é incorporado a uma molécula orgânica, neste caso, um carboidrato (CH_2O). Como subproduto dessa reação,

temos a liberação de gás oxigênio, que permite a manutenção da maior parte dos seres vivos em nosso planeta do modo como a conhecemos atualmente.

Como mencionado anteriormente, o processo da fotossíntese ocorre nos cloroplastos. Existe uma cadeia de transporte de elétrons na membrana tilacoide dos cloroplastos, semelhante àquelas encontradas na membrana interna da mitocôndria, com três complexos enzimáticos e uma ATPase. Esses complexos realizam as primeiras reações da fotossíntese, em uma fase que depende da incidência de luz na planta, sendo denominada, portanto, fase de claro. As coenzimas reduzidas (NADPH) e o ATP produzidos nesta etapa são utilizados em uma segunda série de reações, incluindo o ciclo de Calvin, que vão fixar e reduzir o carbono, sintetizando açúcares simples. Esta próxima etapa ocorre no estroma do cloroplasto e é denominada fase de escuro, pois suas reações não dependem da luz. Entretanto, esta nomenclatura deve ser usada com cautela, visto que esta fase ocorre também em presença da luminosidade.

12. A Fotorrespiração e a Recuperação de Carbonos

A fixação do carbono ocorre em uma série de reações cíclicas, chamada ciclo de Calvin. Neste ciclo, o carbono inorgânico (CO_2) é incorporado a uma molécula de cinco carbonos e dois fosfatos denominada ribulose 1,5-bifosfato. Essa incorporação se dá por intermédio da enzima ribulose 1,5-bifosfato carboxilase/oxigenase (RUBISCO), que atua tanto como carboxilase, função essa responsável pela incorporação do carbono, quanto como oxigenase. Quando a quantidade de CO_2 é superior à de O_2, a RUBISCO atua como carboxilase, gerando duas moléculas de 3-fosfoglicerato (3C) a partir de uma ribulose (5C). Entretanto, quando a concentração de O_2 é maior do que a de CO_2, a RUBISCO age como oxidase, originando uma molécula de 3-fosfoglicerato (3C) e uma de fosfoglicolato (2C). O fosfoglicolato é um metabólito inútil para a planta, de modo que a sua produção acarreta um prejuízo energético. Esses carbonos são recuperados em um processo que envolve gasto de energia, denominado fotorrespiração, com a participação de duas outras organelas oxidativas estudadas anteriormente - a mitocôndria e o peroxissomo. Ao final desse processo, a molécula de fosfoglicolato é convertida em uma de 3-fosfoglicerato, que pode ser reaproveitada no ciclo de Calvin.

Bibliografia

ALBERTS, B.; JOHNSON, A.; LEWIS, J.; RAFF, M.; ROBERTS, K.; WALTER, P. **Molecular Biology of the Cell**. 5th Edition. Garland Science, New York. 2008.

RAVEN, P.H.; EVERT, R.F.; EICHHORN, S.E. **Biologia Vegetal**. 7ª Edição. Guanabara Koogan, Rio de Janeiro. 2007.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Plant Physiology**. 7th Edition. Sinauer Associates, Sunderland Mass. 2006.

Atividade

Questionário

Não se esqueça de responder ao **questionário**.

1. Cite três diferenças estruturais entre as células eucarióticas animais e as vegetais e três semelhanças entre mitocôndrias e cloroplastos.
2. Escreva um parágrafo contendo as respostas para as perguntas abaixo:
   - Os processos de respiração celular e fotossíntese são fenômenos distintos? Justifique a sua resposta.
   - Células que realizam fotossíntese também são capazes de fazer a respiração celular?
   - Em quais organelas ocorrem cada um destes processos?

Bom trabalho!

II. Ampliando os Conhecimentos

Vídeos

- Célula Eucariótica Animal e Vegetal
- Estrutura do Cloroplasto
- Fotossíntese

RedeFor